

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

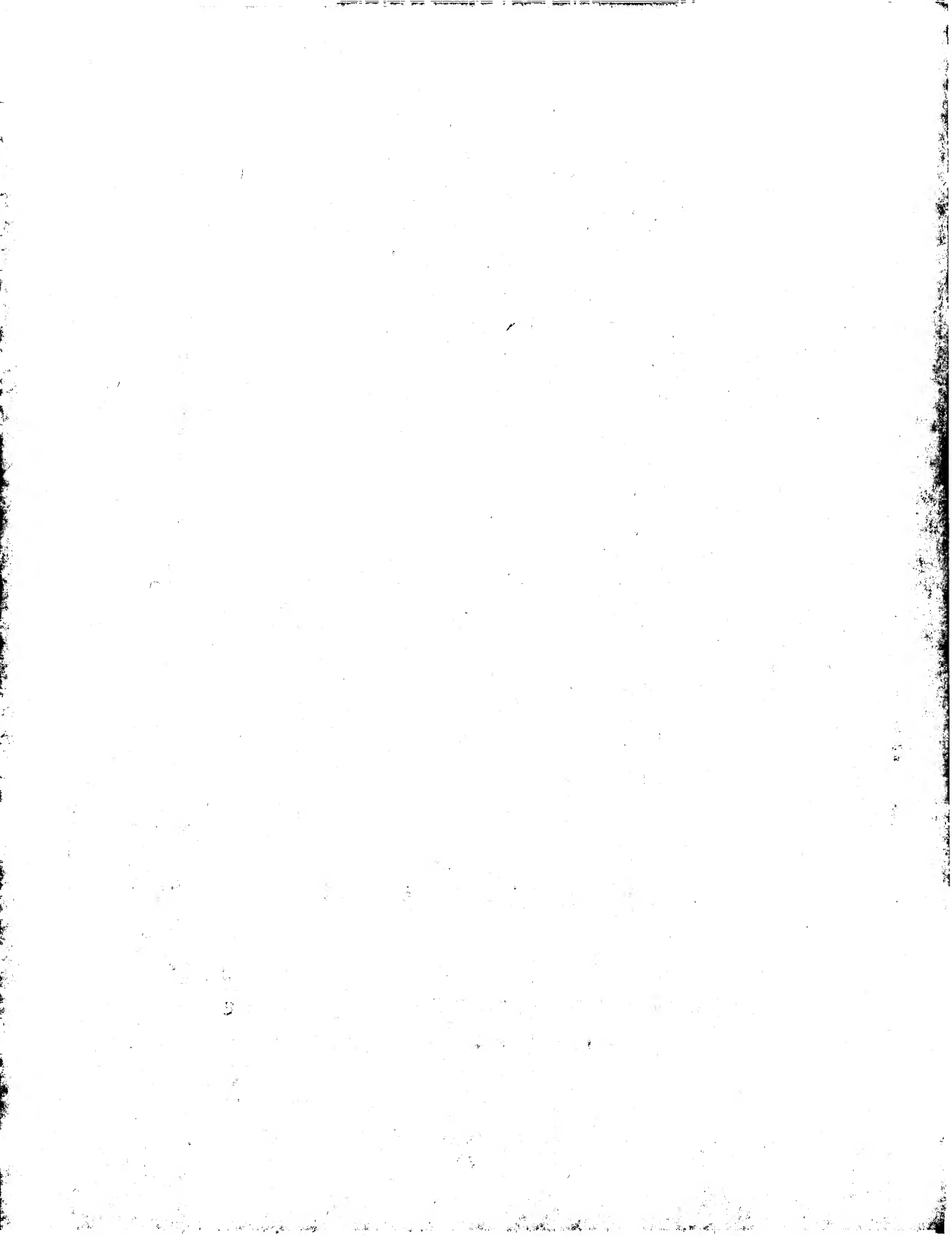
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of : **Confirmation No. 5146**  
Marc ROBELET : Docket No. 2003-1749A  
Serial No. 10/725,569 : Group Art Unit 3725  
Filed December 3, 2003 :

STEEL FOR MECHANICAL CONSTRUCTION,  
METHOD OF HOT-SHAPING OF A PART FROM  
THIS STEEL, AND PART THUS OBTAINED

---

**CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Applicant in the above-entitled application hereby claims the date of priority under the International Convention of French Patent Application No. 02 15378, filed December 5, 2002, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said French Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Marc ROBELET

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED  
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE  
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT  
ACCOUNT NO. 23-0975

By

Michael R. Davis

Registration No. 25,134

Attorney for Applicant

MRD/kes  
Washington, D.C. 20006-1021  
Telephone (202) 721-8200  
Facsimile (202) 721-8250  
April 21, 2004



11



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

26 NOV. 2003

Fait à Paris, le \_\_\_\_\_

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)



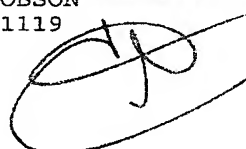
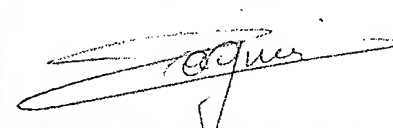
**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**  
**page 1/2**

**BR1**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 010801

REMISE DES PIÈCES DATE <b>5 DEC 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0215378</b> DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>05 DEC. 2002</b>		<b>1</b> NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  CABINET LAVOIX 2, Place d'Estienne d'Orves 75441 PARIS CEDEX 09	
Vos références pour ce dossier BFF 02/0324 (facultatif)			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2</b> NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
<b>3</b> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Acier pour construction mécanique, procédé de mise en forme à chaud d'une pièce de cet acier et pièce ainsi obtenue.			
<b>4</b> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5</b> DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		ASCOMETAL  Société Anonyme 331048132	
Domicile ou siège		Immeuble Le Colisée, 10 Avenue de l'Arche, Faubourg de l'Arche,	
Rue		92400 COURBEVOIE	
Code postal et ville		FRANCE	
Pays		Française	
Nationalité		N° de télécopie (facultatif)	
N° de téléphone (facultatif)		<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE LIEU N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI <b>5 DEC 2002</b> <b>75 INPI PARIS</b> <b>0215378</b>	DB 540 W / 010501
<b>Vos références pour ce dossier :</b> (facultatif)		BFF 02/0324	
<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b> Nom Prénom Cabinet ou Société  N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel  Adresse Rue Code postal et ville Pays N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)		CABINET LAVOIX  2 Place d'Estienne d'Orves  75441 PARIS CEDEX 09 FRANCE 01 53 20 14 20 01 48 74 54 56 brevets@cabinet-lavoix.com	
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'Inventeur(s)	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		C. JACOBSON n° 92.1119 	
		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 	



L'invention concerne la sidérurgie, et plus précisément, la fabrication de pièces en acier pouvant être, notamment, utilisées en construction mécanique et mises en forme par le procédé appelé « thixoforgeage ».

Le thixoforgeage appartient à la catégorie des procédés de mise en  
5 forme des métaux à l'état semi-solide.

Ce procédé consiste à réaliser une déformation importante sur un lopin chauffé entre le solidus et liquidus. Les aciers utilisés pour ce procédé sont ceux classiquement utilisés pour la forge à chaud auxquels on fait, si nécessaire, préalablement subir une opération métallurgique consistant à  
10 globuliser la structure primaire classiquement dendritique. En effet, cette structure primaire dendritique n'est pas adaptée aux opérations de thixoforgeage. Au cours du chauffage jusqu'à des températures comprises entre le solidus et le liquidus, la micro-ségrégation existante entre les dendrites et les espaces inter-dendritiques va entraîner la fusion de l'acier  
15 préférentiellement dans ces espaces inter-dendritiques. Lors de l'opération de mise en forme de cet enchevêtrement de liquide et de solide, la phase liquide va, dans un premier temps, être éjectée lors du début de l'application de l'effort. Il faudra donc déformer la phase solide et un résidu de liquide en grande partie séparé de la phase solide, ce qui entraînera une augmentation des efforts. Pour  
20 une opération de déformation dans ces conditions, le résultat obtenu est mauvais : ségrégations importantes, défauts internes.

En revanche, lorsque le thixoforgeage est effectué sur un acier à structure globulaire, porté à l'état semi-solide par un chauffage à une température comprise entre le liquidus et le solidus, les particules globulaires  
25 solides sont réparties de façon uniforme dans la phase liquide. En optimisant le choix de la proportion solide/liquide, on peut obtenir un matériau présentant une vitesse de déformation élevée sous l'effet d'une importante contrainte de cisaillement. Il présente donc une très haute déformabilité.

Il est cependant possible, dans certains cas, d'obtenir la structure  
30 globulaire désirée au cours du chauffage préalable au thixoforgeage, sans avoir recours à une opération de globulisation de la structure primaire séparée. C'est le cas, notamment, lorsqu'on opère sur des lopins issus de barres

laminées provenant de blooms de coulée continue ou de lingots. Les multiples réchauffages et les déformations importantes subis par l'acier ont alors conduit à une structure très imbriquée et diffuse où une structure primaire est pratiquement impossible à révéler. Elle permet d'obtenir une structure globulaire de la phase solide pendant le chauffage préalable au thixoforgeage.

Le thixoforgeage permet, par rapport aux procédés classiques de forgeage à chaud, de réaliser en une seule opération de déformation des pièces de géométrie complexe pouvant présenter des parois minces (1 mm ou moins), et ce avec de très faibles efforts de mise en forme. En effet, sous l'action d'efforts externes, les aciers adaptés pour une opération de thixoforgeage se comportent comme des fluides visqueux.

Pour les aciers de construction mécanique, dont la teneur en carbone peut varier de 0,2% à 1,1%, la température de chauffage nécessaire à la déformation par le procédé de thixoforgeage est, par exemple, de  $1430^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} = 1480^{\circ}\text{C}$  pour une nuance C38 (température de solidus mesurée +  $50^{\circ}\text{C}$  pour obtenir le bon rapport phase liquide/phase solide nécessaire à la déformation) et de  $1315^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} = 1365^{\circ}\text{C}$  pour une nuance 100Cr6.

La température de chauffage et la quantité de phase liquide formée sont des paramètres importants du procédé de thixoforgeage. La facilité d'obtention de la « bonne » température et l'intervalle de dispersion envisageable autour de cette température pour limiter les variations de la quantité de phase liquide dépendent de l'intervalle de solidification. Plus cet intervalle est grand, plus il est facile de régler les paramètres de chauffage.

Par exemple, cet intervalle de solidification mesuré est de  $110^{\circ}\text{C}$  pour une nuance C38 et de  $172^{\circ}\text{C}$  pour la nuance 100Cr6. Il est donc beaucoup plus facile de travailler avec cette dernière nuance qui présente, de plus, une température de solidus basse :  $1315^{\circ}\text{C}$ .

Les températures de mise en forme très élevées et les vitesses de déformation importantes qui sont utilisées dans le procédé de thixoforgeage, conduisent à solliciter thermiquement les outils de déformation dans des conditions fréquemment extrêmes. Ceci conduit à utiliser pour ces outillages des alliages ayant de très hautes caractéristiques mécaniques à chaud, ou des

matériaux céramiques. Les difficultés de réalisation de certaines géométries ou d'outils (inserts) de volume importants et les coûts de réalisation de ceux-ci peuvent freiner le développement du procédé de thixoforgeage.

Le but de l'invention est de proposer de nouvelles nuances d'acier  
5 mieux adaptées au thixoforgeage que celles classiquement utilisées, en ce qu'elles permettraient d'abaisser la température de mise en forme, donc de procurer une moindre sollicitation thermique des outils de déformation, et en ce qu'elles amélioreraient le comportement de l'acier lors du thixoforgeage. Ces nouvelles nuances ne devraient pas, par ailleurs, dégrader les propriétés  
10 mécaniques des pièces obtenues.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier pour construction mécanique, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :

- $0,35 \leq C \leq 2,5\%$
- 15 -  $0,10\% \leq Mn \leq 2,5\%$
- $0,60\% \leq Si \leq 3,0\%$
- $traces \leq Cr \leq 4,5\%$
- $traces \leq Mo \leq 2,0\%$
- $traces \leq Ni \leq 4,5\%$
- 20 -  $traces \leq V \leq 0,5\%$
- $traces \leq Cu \leq 4\%$  avec  $Cu \leq Ni \% + 0,6 Si \%$ , si  $Cu \geq 0,5\%$
- $traces \leq Al \leq 0,060\%$
- $traces \leq Ca \leq 0,050\%$
- $traces \leq B \leq 0,01\%$
- 25 -  $traces \leq S \leq 0,200\%$
- $traces \leq Te \leq 0,020\%$
- $traces \leq Se \leq 0,040\%$
- $traces \leq Pb \leq 0,070\%$
- $traces \leq Nb \leq 0,050\%$
- 30 -  $traces \leq Ti \leq 0,050\%$

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

De préférence, le rapport Mn%/Si% est supérieur ou égal à 0,4.

L'acier peut contenir également traces  $\leq P\% \leq 0,200\%$ , traces  $\leq Bi \leq 0,200\%$ , traces  $\leq Sn \leq 0,150\%$ , traces  $\leq As \leq 0,200\%$ , traces  $\leq Sb \leq 0,150\%$ , avec  $P\% + Si\% + Sn\% + As\% + Sb\% \leq 0,200\%$ .

5 L'invention a également pour objet un procédé de mise en forme à chaud d'une pièce d'acier, caractérisé en ce que :

- on se procure un lopin d'acier de la composition précédente ;
- on lui applique éventuellement un traitement thermique lui procurant une structure primaire globulaire ;

10 - on le réchauffe à une température intermédiaire entre sa température de solidus et sa température de liquidus, dans des conditions telles que la fraction solide présente une structure globulaire ;

- on réalise un thixoforgeage dudit lopin pour obtenir ladite pièce ;

- et on effectue un refroidissement de ladite pièce.

15 Ledit thixoforgeage a de préférence lieu dans une zone de températures où la fraction de matière liquide présente dans le lopin est comprise entre 10 et 40%.

Ledit refroidissement est de préférence effectué à l'air calme, ou à une vitesse inférieure à celle que procurerait un refroidissement naturel à l'air.

20 Comme on l'aura compris, l'invention consiste essentiellement à augmenter sensiblement la teneur en silicium des nuances d'acier habituellement utilisées pour fabriquer des pièces par thixoforgeage.

En effet, cet ajout de silicium permet d'abaisser la température de solidus et, dans une moindre mesure, la température de liquidus. En  
25 conséquence, on diminue la température à laquelle le thixoforgeage de l'acier peut être réalisé, à fraction liquide égale. De plus, on augmente l'ampleur de l'intervalle de solidification, ce qui va dans le sens d'une plus grande facilité de la réalisation du thixoforgeage puisque la précision sur la température de l'opération devient moins critique. D'autre part, le silicium a la propriété  
30 d'améliorer la fluidité du métal.

De préférence, il faut respecter un rapport Mn%/Si% supérieur ou égal à 0,4. En effet, si la fluidité est élevée à cause d'une forte teneur en

silicium, (par exemple 1% ou davantage), une teneur en manganèse trop faible procure au métal des propriétés mécaniques insuffisantes au cours du refroidissement lors de la coulée continue, d'où un risque d'apparition de fissures. De telles fissures peuvent également apparaître, pour les mêmes  
5 raisons, lors du refroidissement suivant le thixoforgeage, d'autant plus que les fortes variations d'épaisseur de la pièce conduisent à des écarts notables sur les vitesses de refroidissement locales. On crée ainsi des contraintes susceptibles de favoriser l'apparition de fissures si les propriétés mécaniques de l'acier sont insuffisantes.

10 Selon une variante de l'invention, cette addition de silicium se conjugue à une addition d'autres éléments qui, comme le silicium, peuvent ségréger aux joints de grains : phosphore, bismuth, étain, arsenic, antimoine.

L'invention sera mieux décrite à la lecture de la description qui suit, donnée en référence aux figures annexées suivantes :

15 - la figure 1 qui montre la proportion de phase liquide en fonction de la température dans un premier acier de référence et dans un premier acier selon l'invention qui en dérive ;

- la figure 2 qui montre la proportion de phase liquide en fonction de la température dans un second acier de référence et dans un second acier  
20 selon l'invention qui en dérive.

Pour diminuer les sollicitations des outils lors du thixoforgeage et rendre celui-ci plus facile, l'homme du métier dispose d'une première solution qui consiste, comme on l'a dit, à abaisser les températures de travail grâce à un ajout de carbone. Cette solution permet d'abaisser les températures de liquidus  
25 et de solidus. Elle présente cependant l'inconvénient d'influer sensiblement sur les propriétés mécaniques de l'acier.

Les inventeurs ont imaginé qu'un effet bénéfique sur les sollicitations des outils de forgeage pouvait être obtenu par l'ajout d'éléments présentant une forte tendance à la ségrégation aux joints de grains : silicium, phosphore,  
30 bismuth, étain, arsenic et antimoine.

Cette forte ségrégation n'est habituellement pas recherchée.

En effet la fusion de telles zones ségréguées à une température plus basse que le solidus, généralement appelée température de brûlure, est néfaste aux opérations de formage à chaud classiques, laminage et forgeage.

Pour une température de forgeage ou de laminage donnée, inférieure à la température de solidus pour la matrice du métal à déformer, la présence de zones liquides dues à des éléments ségrégeants à bas points de fusion, même avec de très faibles volumes (quelques %), aux joints de grains solides va conduire à la désagrégation de la matière mise en forme. C'est la partie solide qui pilote les mécanismes de déformation pour ces procédés de mise en forme, et les efforts nécessaires à la mise en forme conduisent à des ruptures de matière (totales ou partielles) néfastes à la réalisation du produit et à ses propriétés. Dans le cas où la phase liquide est supérieure à 10%, ce qui est le cas dans le thixoforgeage, le matériau est biphasé, ce qui entraîne un comportement très différent lors de la déformation : les particules solides sont incluses dans du liquide, et s'il existe des contacts (appelés ponts) entre les particules solides, les efforts très faibles nécessaires à leurs ruptures ne sont pas des causes de ruine du matériau.

Dans le cas du thixoforgeage où la température de brûlure est largement dépassée, la fusion des zones ségréguées crée des poches liquides qui favorisent et accélèrent la formation de la phase liquide au sein de l'acier. On a donc intérêt à la favoriser.

Grâce à l'invention on peut ainsi obtenir la quantité de phase liquide nécessaire au bon déroulement du thixoforgeage à une température inférieure à celle habituellement nécessaire lorsqu'on ne procède pas à l'ajout d'au moins un des éléments cités précédemment, et notamment de silicium.

La teneur en carbone des aciers selon l'invention peut varier entre 0,35% et 2,5%. A cette condition, on peut obtenir des structures métalliques, des propriétés mécaniques et des propriétés d'usage désirables pour des pièces d'acier thixoforgées utilisables en construction mécanique. La teneur en carbone doit être choisie en fonction de l'utilisation envisagée.

La teneur en silicium des aciers de l'invention peut varier entre 0,60 et 3%. Comme le carbone, le silicium permet d'abaisser les températures de

solidus et de liquidus et d'élargir l'intervalle de solidification. Il a aussi un effet synergétique sur la ségrégation des autres éléments. Il permet également d'améliorer la fluidité du métal. Pour les raisons que l'on a dites, il est préférable que le rapport Mn%/Si% soit supérieur ou égal à 0,4.

5           La teneur en manganèse peut être comprise entre 0,10 et 2,5%. Elle doit être ajustée en fonction des propriétés mécaniques requises, en liaison avec les teneurs en carbone et silicium. Elle influe relativement peu sur les températures de liquidus et de solidus. L'obtention d'un rapport Mn%/Si% optimal peut conduire à devoir augmenter sensiblement la teneur en  
10 manganèse conjointement à la teneur en silicium par rapport aux aciers de référence, toutes choses étant égales par ailleurs.

La teneur en chrome peut être comprise entre des traces et 4,5%.

La teneur en molybdène peut être comprise entre des traces et  
4,5%.

15           La teneur en nickel peut être comprise entre des traces et 4,5%.

Le réglage des teneurs en chrome, molybdène et nickel permet d'assurer les propriétés mécaniques des pièces réalisées : résistance à la rupture, limite d'élasticité et résilience.

La teneur en vanadium est comprise entre des traces et 0,5%. Pour  
20 certaines applications où la résilience n'est pas importante, cet élément permet d'obtenir des aciers à très hautes caractéristiques mécaniques pouvant se substituer à des aciers riches en chrome et/ou molybdène et/ou nickel, plus coûteux.

La teneur en cuivre peut être comprise entre des traces et 4,0%. Cet  
25 élément permet d'augmenter les caractéristiques mécaniques, d'améliorer la tenue à la corrosion et d'abaisser la température de solidus. Il faut noter que si le cuivre est présent en quantités élevées (0,5% et davantage), il faut que le nickel et/ou le silicium soient présents en quantité suffisante pour éviter des problèmes au laminage à chaud ou au forgeage. On considère que si  $Cu\% \geq$   
30 0,5%, il faut que  $Cu\% \leq Ni\% + 0,6 Si\%$ .

Les teneurs en aluminium et calcium, éléments désoxydants, sont comprises entre des traces et, respectivement, 0,060% pour l'aluminium et 0,050% pour le calcium.

Le bore, élément trempant, a sa teneur comprise entre des traces et  
5 0,010%.

La teneur en soufre est comprise entre des traces et 0,200%. Une teneur élevée favorise l'usinabilité du métal, en particulier si on lui adjoint des éléments tels que le tellure (jusqu'à 0,020%), le sélénium (jusqu'à 0,040%) et le plomb (jusqu'à 0,070%). Ces éléments d'usinabilité n'ont que peu d'influence  
10 sur les températures de solidus et de liquidus. Lorsque du soufre est ajouté en quantité notable, il est bon d'avoir un rapport Mn%/S% d'au moins 4 pour que le laminage à chaud s'effectue sans formation de défauts.

Le niobium et le titane, lorsqu'ils sont ajoutés, permettent de maîtriser la taille des grains. Leurs teneurs maximales admissibles sont de  
15 0,050%.

En ce qui concerne les éléments ségrégeants autres que le silicium dont la présence peut être conseillée, ces éléments peuvent être présents seuls ou en combinaison. S'ils sont seuls (c'est-à-dire que les autres éléments de la liste ne sont présents qu'à l'état de traces), pour qu'un effet significatif soit  
20 obtenu, il doit y avoir au moins 0,050% de phosphore, ou 0,050% de bismuth, ou 0,050% d'étain, ou 0,050% d'arsenic ou 0,050% d'antimoine.

La somme des éléments phosphore, bismuth, étain, arsenic et antimoine doit être de préférence supérieure à 0,050% et ne doit pas dépasser 0,200% pour éviter les problèmes précités lors du laminage à chaud ou du  
25 forgeage permettant d'obtenir le lopin destiné à subir le thixoforgeage.

Bien entendu, en cas d'addition d'arsenic lors de l'élaboration du métal liquide, toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour que les vapeurs toxiques dégagées soient captées de manière à ne pas intoxiquer le personnel de l'aciérie. Dans les faits, la présence d'arsenic résulte le plus  
30 souvent de l'addition de cuivre ou d'étain, que l'arsenic accompagne généralement à titre d'impureté. Comme l'arsenic est un élément très fortement ségrégeant, il est nécessaire de le prendre en compte pour s'assurer qu'en



conjugaison excessive avec les autres éléments ségrégeants, il ne conduise pas aux effets néfastes à la transformation à chaud qui ont été cités.

Le tableau 1 expose les compositions d'un premier couple formé par un acier de référence et un acier selon l'invention qui en dérive.

5

Tableau 1 : Composition d'un acier de référence et d'un acier selon l'invention (en % pondéraux)

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P	Ti	Al
Référence	0.962	0.341	0.237	1.5	0.017	0.089	0.161	0.01	0.009	0.002	0.037
Invention	1.111	1.005	1.53	1.44	0.003	0.164	0.137	0.008	0.003	0.0027	0.039

10

Par rapport à l'acier de référence, on voit qu'outre l'addition très importante de silicium, la teneur en manganèse a été sensiblement augmentée pour rétablir un rapport Mn%/Si% conforme aux exigences préférentielles de l'invention.

15

La figure 1 représente la proportion de phase liquide en fonction de la température dans ces deux aciers.

Les températures de solidus mesurées sont de 1315°C pour l'acier de référence et 1278°C pour l'acier de l'invention.

20

Les températures de liquidus mesurées sont respectivement de 1487°C et 1460°C. Les intervalles de solidification pour ces deux aciers ont donc des largeurs respectives de 172°C et 182°C. D'autre part, l'intervalle de températures dans lequel la fraction liquide de l'acier est comprise entre 10 et 40% et qui est habituellement considéré comme le plus favorable au thixoforgeage est :

25

- pour l'acier de référence, de 1370 à 1422°C ;

- pour l'acier de l'invention, de 1328 à 1388°C.

On observe donc un abaissement de l'ordre de 30 à 40°C de cet intervalle, et un élargissement de 8°C de son ampleur, toutes choses qui vont dans le sens d'une moindre sollicitation des outils lors du thixoforgeage, et d'une plus grande facilité d'obtention de conditions favorables au bon

déroulement de l'opération. Cet effet serait accentué si on ajoutait également d'autres éléments ségrégeants que le silicium dans les limites qui ont été dites.

Le tableau 2 expose les compositions d'un second couple formé par un acier de référence et un autre acier selon l'invention qui en dérive.

5

Tableau 2 : Composition d'un acier de référence et d'un acier selon l'invention (en % pondéraux)

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	P	S	Al
Référence	0.377	0.825	0.19	0.167	0.039	0.113	0.143	0.007	0.009	0.022
Invention	0.385	1.385	0.65	0.193	0.029	0.087	0.110	0.008	0.051	0.025

10

Par rapport à l'acier de référence, là encore la teneur en manganèse a été augmentée dans l'acier selon l'invention et pour les mêmes raisons que dans l'exemple précédent, mais dans des proportions moindres puisque la teneur en silicium de cet acier se situe dans le bas de la gamme exigée par l'invention.

15

La figure 2 représente la proportion de phase liquide en fonction de la température dans ces deux aciers.

Les températures de solidus mesurées sont de 1430°C pour l'acier de référence et de 1415°C pour l'acier de l'invention. Les températures de liquidus mesurées sont respectivement de 1528°C et 1515°C. Les intervalles de solidification pour ces deux aciers ont donc des largeurs respectives de 98°C et 100°C. D'autre part, l'intervalle de température dans lequel la fraction liquide de l'acier est comprise entre 10% et 40% est :

20

- pour l'acier de référence, de 1470°C à 1494°C ;
- pour l'acier de l'invention, de 1437°C à 1469°C.

25

L'abaissement de cet intervalle est de l'ordre de 30°C, et son ampleur est élargie de 8°C, ce qui est favorable à une moindre sollicitation des outils lors du thixoforgeage. Là encore, cet effet pourrait être accentué (notamment par un élargissement de cet intervalle) avec une addition supplémentaire d'éléments ségrégeants autres que le silicium.

A propos de la détermination des températures de solidus et de liquidus à prendre en compte pour la mise en œuvre de l'invention, il faut remarquer qu'elles peuvent ne pas toujours coïncider avec celles que l'on calcule à partir de la composition de l'acier à l'aide des formules disponibles classiquement dans la littérature. En effet, ces formules sont valables dans le cas d'un passage de l'acier liquide à l'acier solide lors d'une solidification et d'un refroidissement de l'acier, et pour des vitesses de refroidissement de quelques degrés par minutes.

Dans le cas de mesures effectuées en vue d'une application au thixoforgeage les mesures doivent être effectuées en partant de l'acier solide et en allant vers l'acier liquide, c'est-à-dire dans le cas d'un réchauffage puis d'une fusion de l'acier. Les essais sont également réalisés avec des conditions d'augmentation de la température de l'ordre de plusieurs dizaines de degrés par minute, correspondant aux conditions de chauffage préalables à l'opération de thixoforgeage.

La réalisation de l'opération de thixoforgeage sur les aciers de l'invention doit être précédée d'un traitement thermique de globulisation de la structure primaire du lopin si une telle structure globulaire n'est pas déjà présente, ou si elle ne peut être obtenue lors du chauffage amenant la pièce devant subir le thixoforgeage à la température adéquate. Comme on l'a dit, la nécessité ou non de procéder à un tel traitement thermique préalable dépend notamment de l'histoire du lopin, en particulier des déformations et traitements thermiques qu'il a subis.

L'obtention d'une telle structure globulaire avant thixoforgeage, pour un acier de composition et d'histoire données, peut être vérifiée si on refroidit brutalement le lopin avant d'avoir procédé à son thixoforgeage. On observe alors la structure telle qu'elle était avant le refroidissement.

En ce qui concerne l'opération de refroidissement de la pièce suivant son thixoforgeage, ce refroidissement doit être effectué à l'air calme, et non de manière forcée, dans le cas, fréquent pour ce genre de pièces, où la pièce présente des variations de section très importantes, par exemple lorsque des parois fines (1 à 2mm) sont raccordées à des zones épaisses (5 à 10mm ou

davantage). L'utilisation d'air soufflé est, dans ce cas, à proscrire car on risque alors d'introduire des contraintes résiduelles très importantes entre parois fines et zones épaisses. Il en résulterait des défauts de surface dégradant les propriétés de la pièce thixoforgée.

- 5            Dans certains cas, il peut être nécessaire de ralentir le refroidissement des pièces pour favoriser l'homogénéité structurale des différentes parties de la pièce. On peut, en effet, faire passer la pièce dans un tunnel régulé en température dans l'intervalle 200-700°C par exemple.

- 10           Mais si la pièce thixoforgée ne présente pas de telles variations de section importantes, il peut être tolérable de réaliser un refroidissement à l'air soufflé. Un tel refroidissement peut être favorable à l'obtention d'une structure métallurgique homogène dans la section de la pièce et de bonnes caractéristiques mécaniques.

**REVENDICATIONS**

1. Acier pour construction mécanique, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :

- $0,35 \leq C \leq 2,5\%$
- 5      -  $0,10\% \leq Mn \leq 2,5\%$
- $0,60\% \leq Si \leq 3,0\%$
- $traces \leq Cr \leq 4,5\%$
- $traces \leq Mo \leq 2,0\%$
- $traces \leq Ni \leq 4,5\%$
- 10      -  $traces \leq V \leq 0,5\%$
- $traces \leq Cu \leq 4\%$  avec  $Cu \leq Ni \% + 0,6 Si \%$ , si  $Cu \geq 0,5\%$
- $traces \leq Al \leq 0,060\%$
- $traces \leq Ca \leq 0,050\%$
- $traces \leq B \leq 0,01 \%$
- 15      -  $traces \leq S \leq 0,200\%$
- $traces \leq Te \leq 0,020\%$
- $traces \leq Se \leq 0,040\%$
- $traces \leq Pb \leq 0,070\%$
- $traces \leq Nb \leq 0,050\%$
- 20      -  $traces \leq Ti \leq 0,050\%$

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

2. Acier selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport  $Mn\%/Si\%$  est supérieur ou égal à 0,4.

3. Acier selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il contient  
 25 également  $traces \leq P\% \leq 0,200\%$ ,  $traces \leq Bi \leq 0,200\%$ ,  $traces \leq Sn \leq 0,200\%$ ,  
 $traces \leq As \leq 0,200\%$ ,  $traces \leq Sb \leq 0,200\%$ , avec  $P \% + Bi \% + Sn \% + As \% + Sb\% \leq 0,200 \%$ .

4. Procédé de mise en forme à chaud d'une pièce d'acier, caractérisé en ce que :

- 30      - on se procure un lopin d'acier de la composition selon l'une des revendications 1 à 3;

- on lui applique éventuellement un traitement thermique lui procurant une structure primaire globulaire ;

- on le réchauffe à une température intermédiaire entre sa température de solidus et sa température de liquidus, dans des conditions telles  
5 que la fraction solide présente une structure globulaire ;

- on réalise un thixoforgeage dudit lopin pour obtenir ladite pièce.

- et on effectue un refroidissement de ladite pièce.

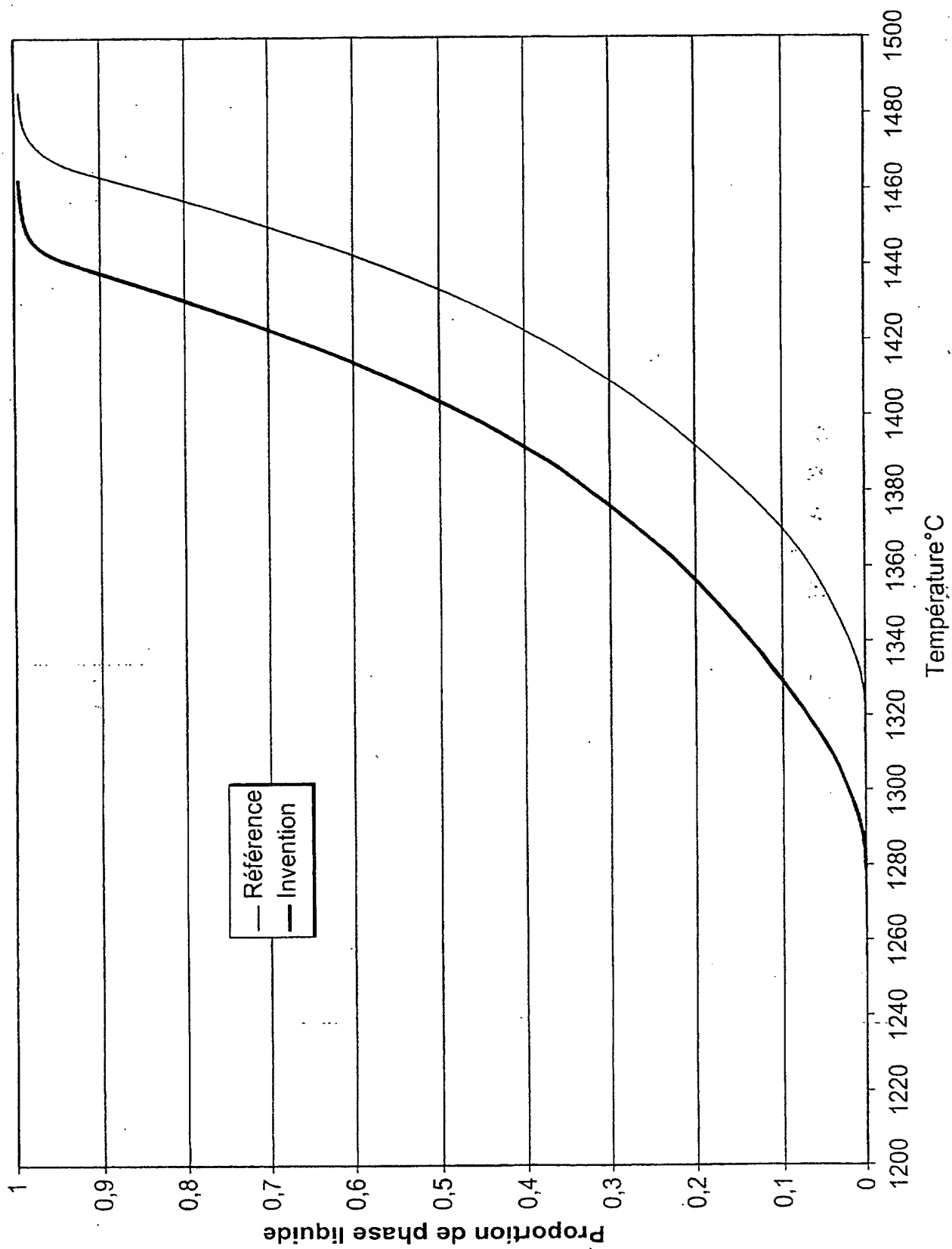
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit thixoforgeage a lieu dans une zone de températures où la fraction de matière  
10 liquide présente dans le lopin est comprise entre 10 et 40%.

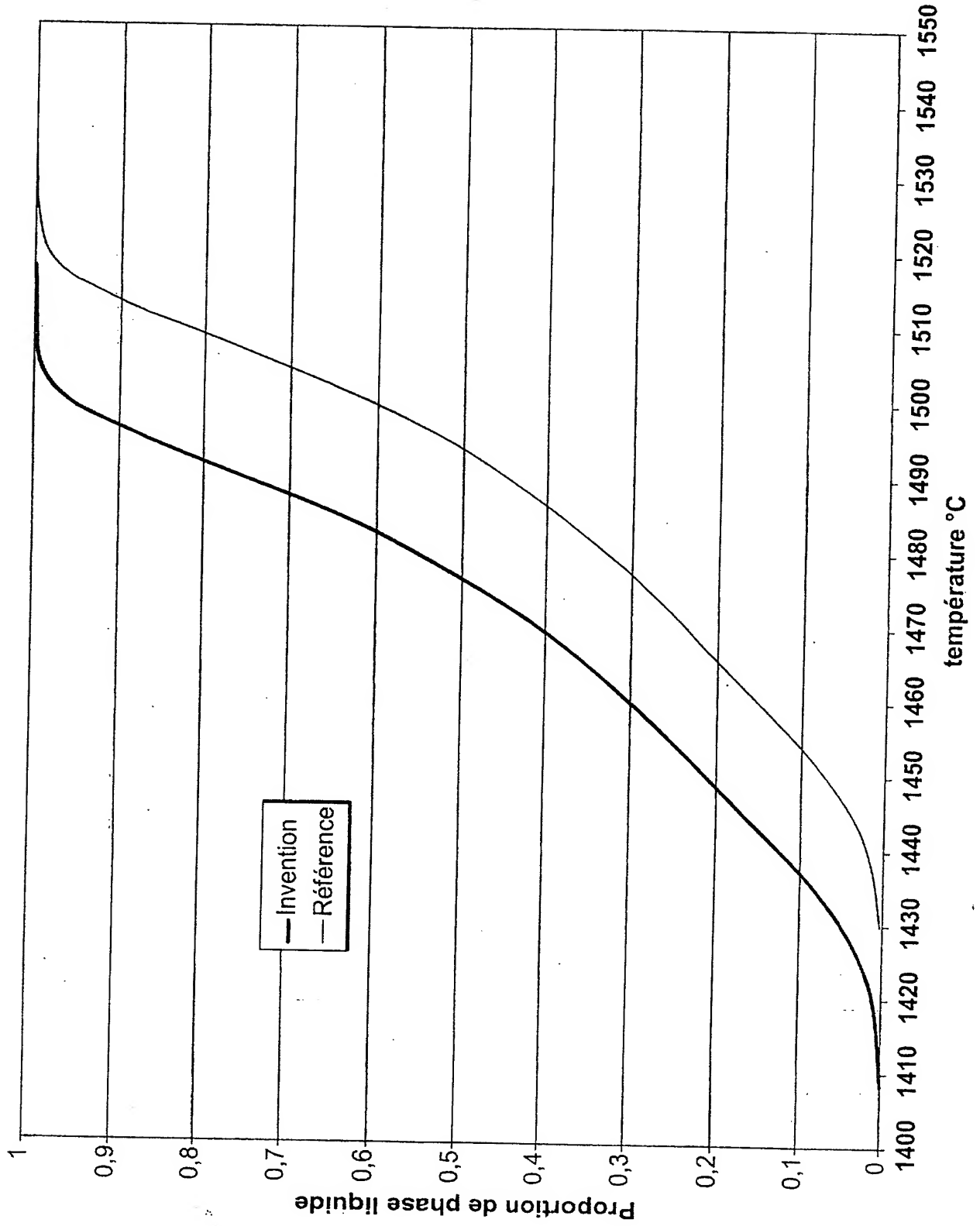
6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que ledit refroidissement est effectué à l'air calme.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on effectue ledit refroidissement à une vitesse inférieure à celle que procurerait un  
15 refroidissement naturel à l'air.

8. Pièce d'acier caractérisée en ce qu'elle est obtenue par un procédé de mise en forme à chaud selon l'une des revendications 4 à 7.

1/2



**FIG.2**



**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

  
N° 11235\*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° 1/1

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270691

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		BFF 02/0324 0216378	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>			
<b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>			
Acier pour construction mécanique, procédé de mise en forme à chaud d'une pièce de cet acier et pièce ainsi obtenue.			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
ASCOMETAL			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b>			
<b>1</b> Nom		ROBELET	
Prénoms		Marc	
Adresse	Rue	19 rue d'Auvergne	
	Code postal et ville	57190 FLORANGE FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>2</b> Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>3</b> Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b>		Paris, le 5 décembre 2002	
<b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b>			
<b>OU DU MANDATAIRE</b>			
(Nom et qualité du signataire)		C. JACOBSON n° 92.1119	

